

6. Bautechnik-Forum Chemnitz 2007 Tagungsband

6. Bautechnik - Forum Chemnitz1


TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

LÄTZSCH
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG


**„Entwicklung von Leichtbauzugstäben für den Einsatz
als statisches Element in Holzkonstruktionen“**
Dipl.-Ing. Sandra Gelbrich, Prof. Dr.-Ing. habil. Lothar Kroll

INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK

Einsatzgebiet von Zugstabsystemen2

Stand der Technik Zugstabsysteme aus Stahl

⚡ Probleme:


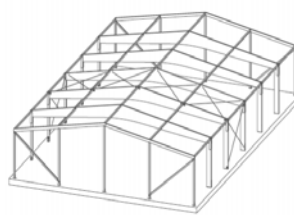
- Hohes Gewicht ⇒ Montagekosten
- Korrosion ⇒ Korrosionsbeschichtung
- Brandschutz ⇒ Brandschutzmaßnahmen
(Beschichtung, Umhausung, etc.)
- Steigender Stahlpreis



↓
aufwendig, teuer, schwer

Zielstellung *Neue Zugstabgeneration in Leichtbauweise*

- Hohe Zugbeanspruchung durch belastungsgerechte Faserlage und optimierte Krafteinleitung
- Flexibilität in der Ausführung und kurze Montagezeiten
- Brandschutz: Feuerwiderstandsdauer F30 (DIN4102) durch feuerfestes Harzsystem
- Geringes Eigengewicht (Leichtbau)
- Korrosionsbeständigkeit
- Preiswerte und wirtschaftliche Konstruktion

Einsatzgebiet
Industriehallenbau / Holzbau

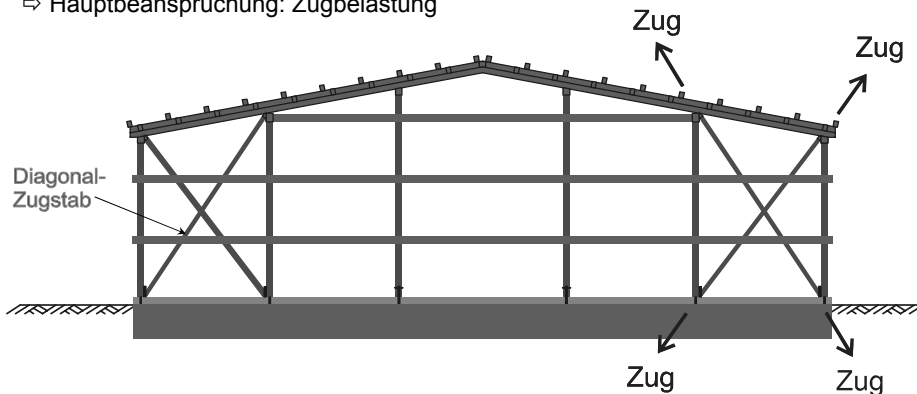
INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK

Belastungsprofil: Zugstabsystem

3

Zugstabsysteme werden als statisches Element zur Aussteifung und Stabilisierung der Konstruktion, insbesondere im Ingenieurholzbau eingesetzt. Zugstäbe können sowohl im Bereich der Wandkonstruktion (reine Zugbelastung) als auch im Dachtragwerk (Zug- und Drucklasten) verwendet werden.

⇒ Hauptbeanspruchung: Zugbelastung



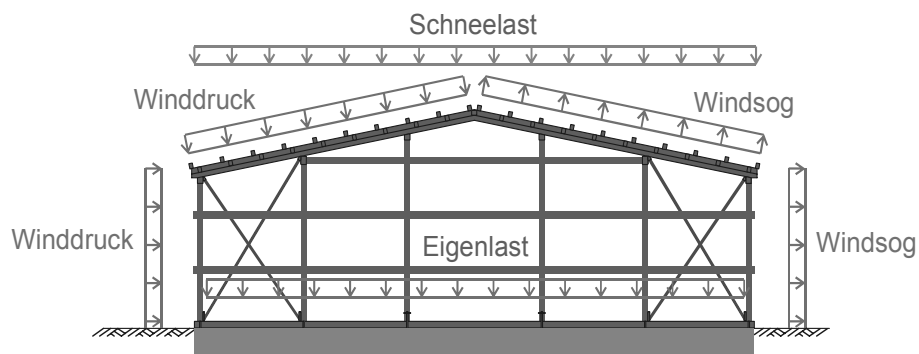
INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK



Belastungsprofil: Gesamtkonstruktion

4

Einwirkende Belastungen nach DIN 1055

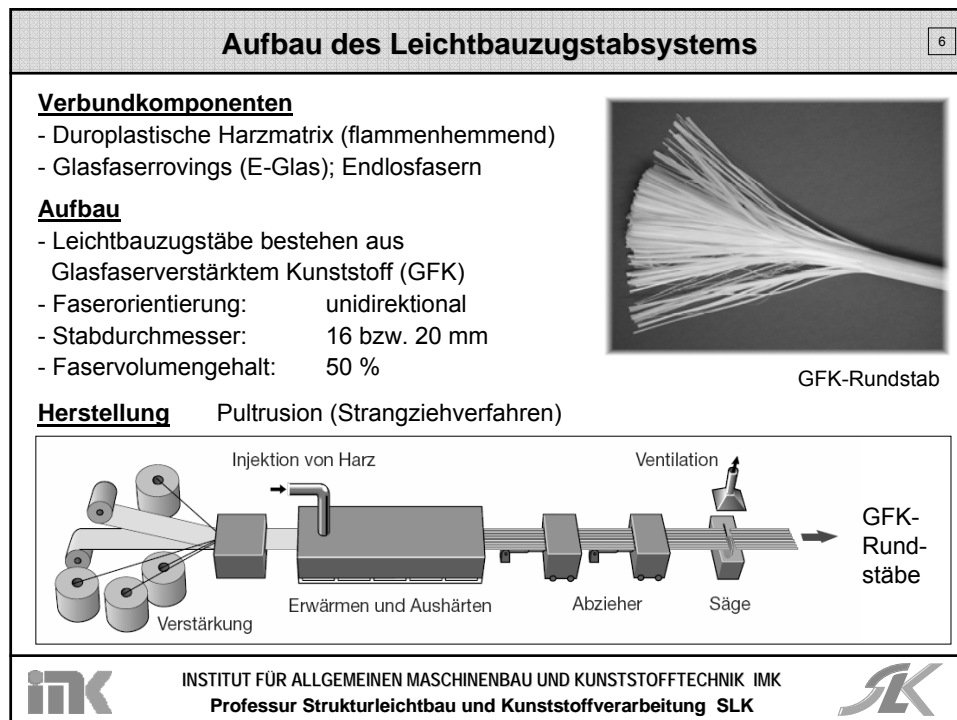
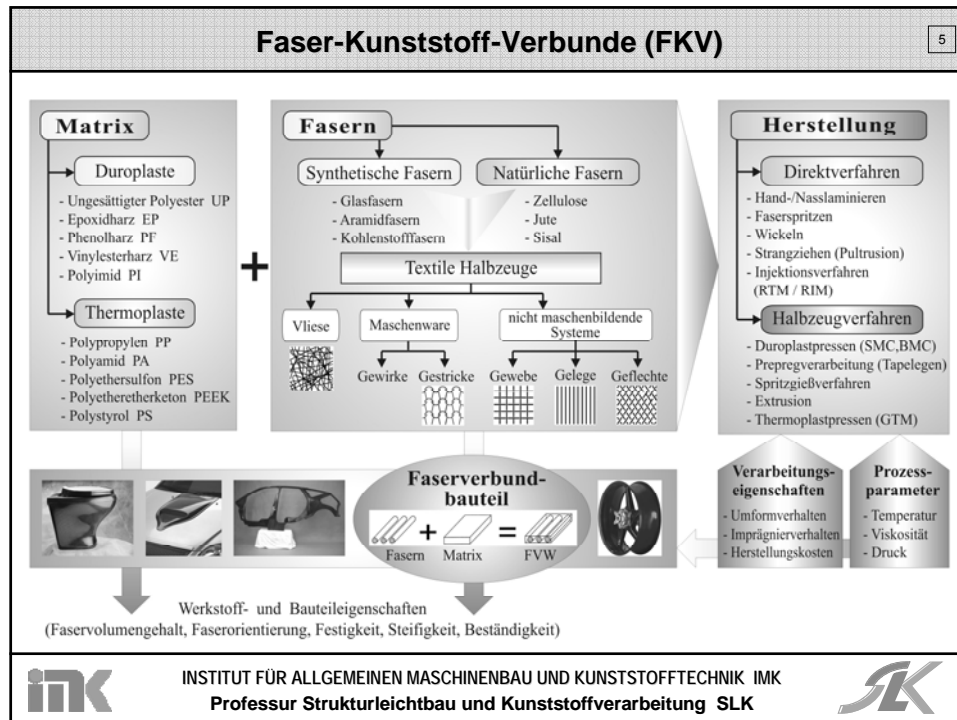


- Statische Belastungen: Zugbeanspruchung (z. B. Schneelast, Eigenlast)
- Dynamische Belastungen: Druck-/Zugbeanspruchung (z. B. Winddruck/Windsog)



INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK





6. Bautechnik-Forum Chemnitz 2007 Tagungsband

Pultrusion von GFK-Rundstäben

7



Pultrusionsanlage
der Firma Lätzsch GmbH
Kunststoffverarbeitung
in Kitzscher bei Leipzig

Formgebungswerkzeug



LÄTZSCH
GmbH
KUNSTSTOFFVERARBEITUNG



INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK



Pultrusion von GFK-Rundstäben

8

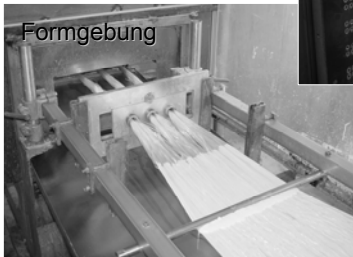
Materialzufuhr / Harzansatz



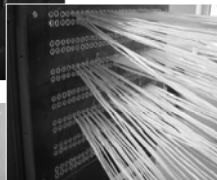
Aushärtung



Formgebung



Roving-
zuführung






Tränkbad-
Imprägnierung

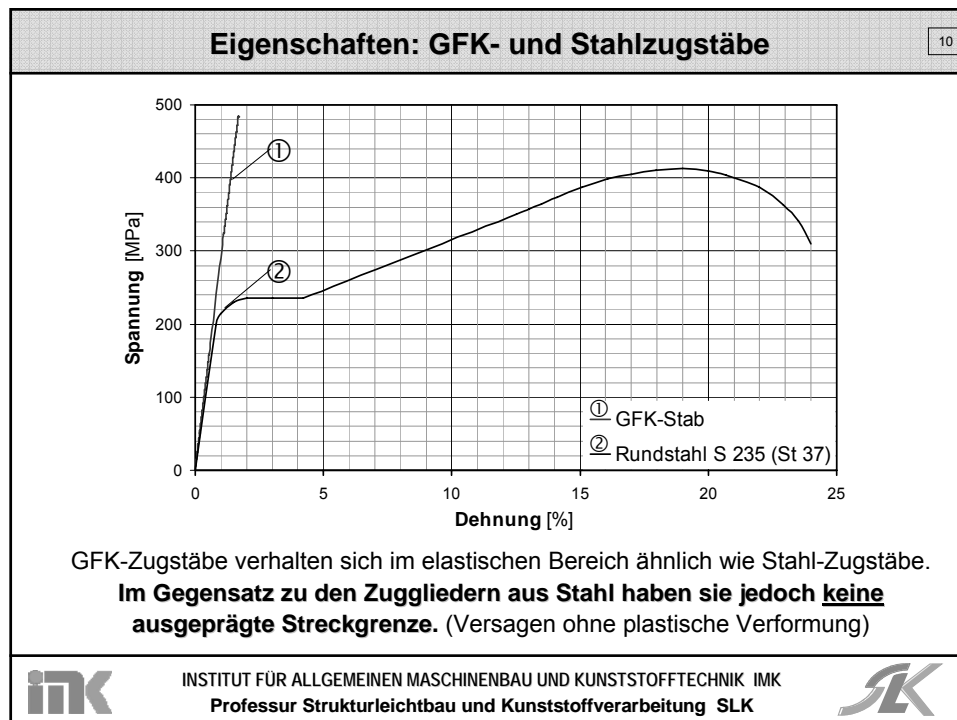


INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK



6. Bautechnik-Forum Chemnitz 2007 Tagungsband

Eigenschaften: GFK- und Stahlzugstäbe					9
Stahlstab St37	Zugfestigkeit:	310 bis 630	MPa	(=N/mm ²)	
	Streckgrenze:	185 bis 355	MPa		
	Zug-E-Modul:	210.000	MPa		
	Druckfestigkeit:	= Zugfestigkeit			
	Bruchdehnung:	18 - 26 %			
isotrop					
GFK-Stab	Zugfestigkeit:	parallel zur Faser	470	MPa	
		senkrecht zur Faser	100	MPa	
	Zug-E-Modul:	parallel zur Faser	40.000	MPa	
		senkrecht zur Faser	10.000	MPa	
	Druckfestigkeit:	parallel zur Faser	350	MPa	
		senkrecht zur Faser	55	MPa	
	Druck-E-Modul:	parallel zur Faser	39.400	MPa	
		senkrecht zur Faser	12.350	MPa	
	Bruchdehnung:	1 bis 3 %			
⇒ Verlust der Tragfähigkeit durch intralaminaren Schubspannungsbruch					
					
 INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK 					

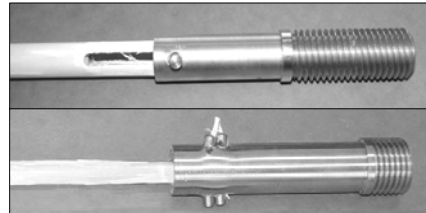


Fasergerechte Krafteinleitungen für GFK-Zugstäbe

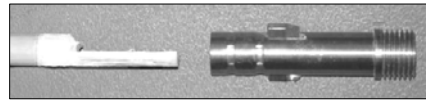
11

GFK-Stäbe versagen bei Erreichen der Maximalzugfestigkeit und haben im Vergleich zu ihrer Festigkeit in Faserlängsrichtung nur sehr geringe Querdrukfestigkeit.

⇒ Im Bauwesen gebräuchliche Verankerungstechniken, wie Haft-, Keil- oder Schraubverankerungen können nicht angewendet werden, da der Faserverbund des GFK-Stabes nachhaltig zerstört wird.



Stiftverbindung mit gerissenem Stab



Keilverbindung mit gerissenem GFK-Stab



INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK



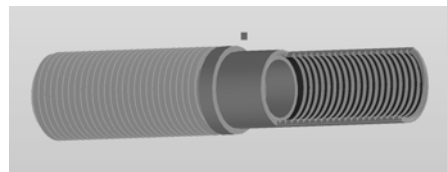
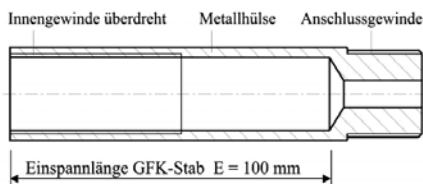
Entwurf von Krafteinleitungen: Pressverbindung

12

Entwicklung einer neuen, fasergerecht ausgelegten Verbindung

⇒ Fokus auf Pressverbindung als Grundform der Krafteinleitungsvarianten

Auswahl bzw. Konstruktion eines Krafteinleitungselements

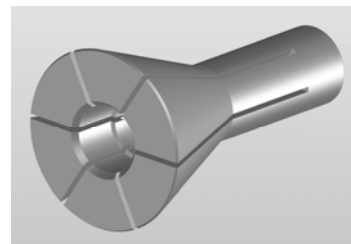
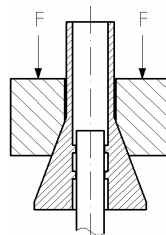


Einbringung Presskontur

Presszange und zugehöriger Matrice

Verpressung

Druckpresse unter definiertem Pressdruck



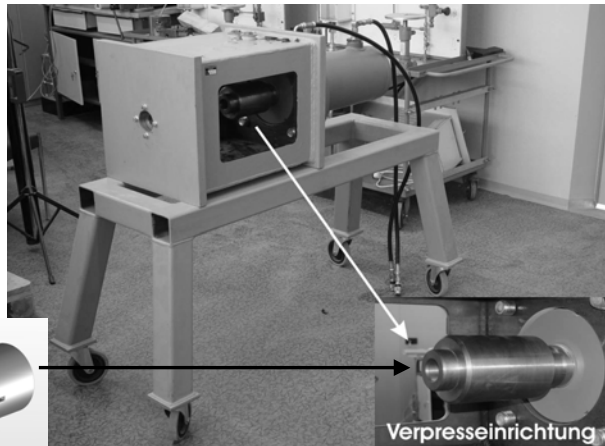
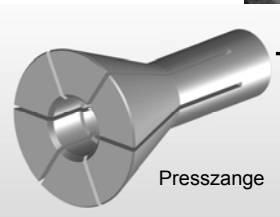
INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK



Herstellung der ausgewählten Pressverbindung

13

Hydraulische
Verpresseinrichtung
(Entwicklung an der
Professur SLK)



INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK



Optimale Gestaltung der Pressverbindung

14

Lösungskonzepte für eine optimierte Presskontur

Untersuchungen zu geometrischen Abmessungen (Länge, Breite, Tiefe), Ausrichtung (quer/längs), Anzahl, Anordnung (flächig, linienförmig) und Lage der Presskonturen



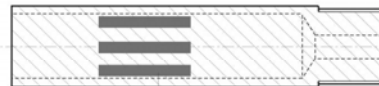
2 Pressstellen (Ringkontur) - Presskontur innen



2 Pressstellen (Ringkontur) - Presskontur mittig



Presskontur flächig



Presskontur axial



4 Pressstellen (Ringkontur); Abstand 20mm

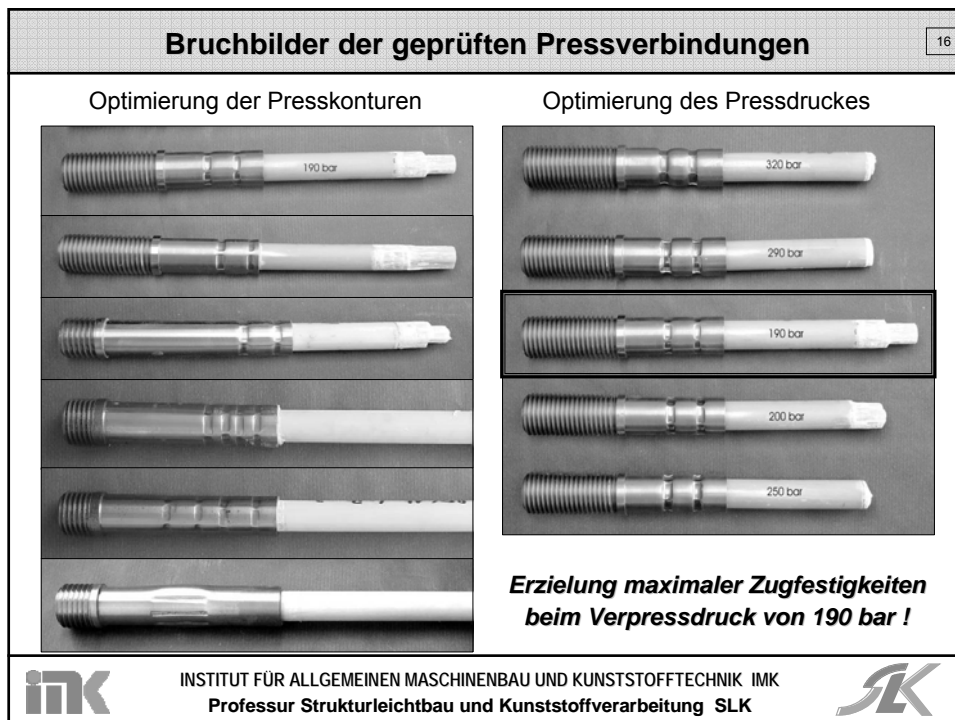
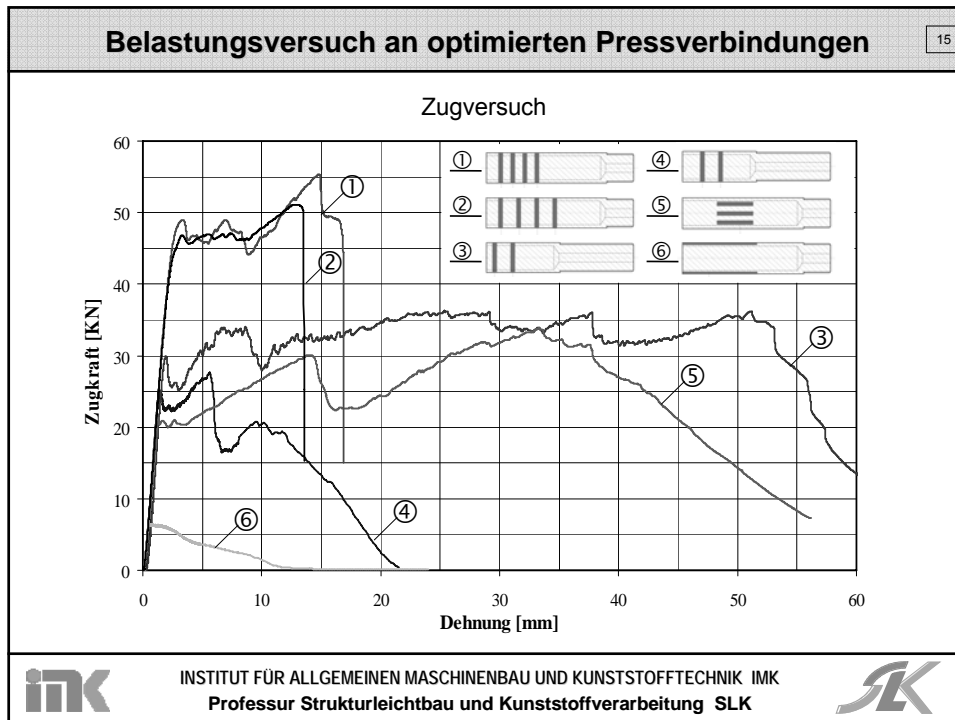



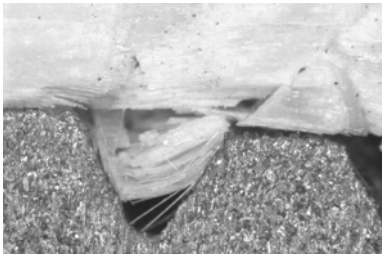
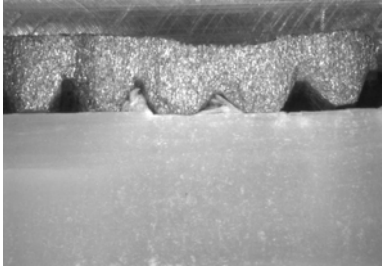
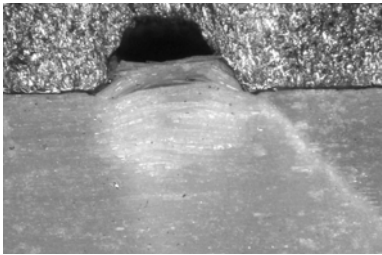


4 Pressstellen (Ringkontur); Abstand 20mm

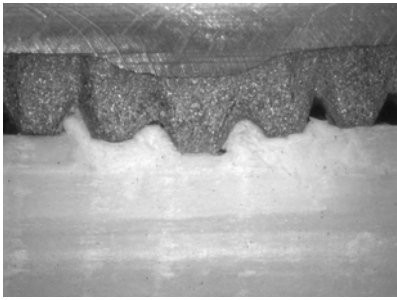
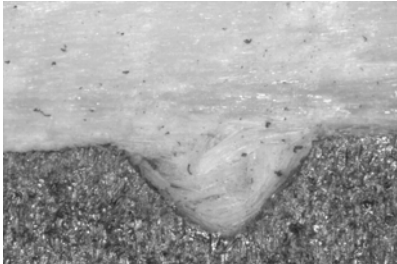
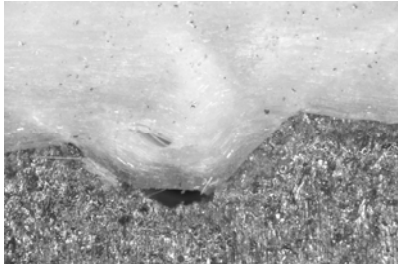




INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK





Schliffbilder zur Kontaktstelle GFK/Stahl		17
Verpressdruck zu hoch	Verpressdruck zu niedrig	
 	 	
 INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK 		

Schliffbilder zur Kontaktstelle GFK/Stahl		18
 	<p style="text-align: center;">Optimaler Verpressdruck</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasern und Matrix pressen sich in die Gewindegänge des Innengewindes im Bereich der ringförmigen Presskonturen ⇒ Form- und Kraftschluss - Kein Durchtrennen/Zerstören der Fasern infolge der Druckkraftaufbringung - Bei Zugbelastung: Abscheren der Randfasern im Pressbereich („Faserstau“) 	
 INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK 		

Kombination von Kleb- und Pressverbindung

19

Entwicklung einer kombinierten Kleb-Press-Verbindung (KPV)

- ⇒ **Verbundwerkstoffe:** Zielgerichtete Kombination von Matrixmaterialien mit entsprechenden Verstärkungskomponenten
 - ⇒ Zusammenwirken unterschiedlicher Materialien (Faser/Matrix)
 - ⇒ Schaffung eines neuen Werkstoffs mit deutlich verbesserten Gesamteigenschaften
- ⇒ **Kombinierte Fügeverbindung:** Zielgerichtetes Zusammenwirken unterschiedlicher Verbindungsarten (Analogie zu den Verbundwerkstoffen)
 - ⇒ neue Fügeverbindung als zweckentsprechende und zielgerichtete Kombination von „Matrixverbindung“ mit ausgewählter „Verstärkungsverbindungen“
 - ⇒ neue Kombinationsverbindung mit deutlich besseren Eigenschaften

Dank der an der Professur SLK entwickelten, auf ihr Anwendungsgebiet abgestimmten **Kleb-Press-Verbindung (KPV)** wird eine **kombinierte Fügeverbindung** bereitgestellt, in der der Form- und Kraftschluss der reinen Pressverbindung zusätzlich durch einen infolge Klebverbindung gezielt unterstützt wird.

⇒ Zusätzliche Klebverbindung (Kleber: Polyurethan) zur Erhöhung der Tragfähigkeit

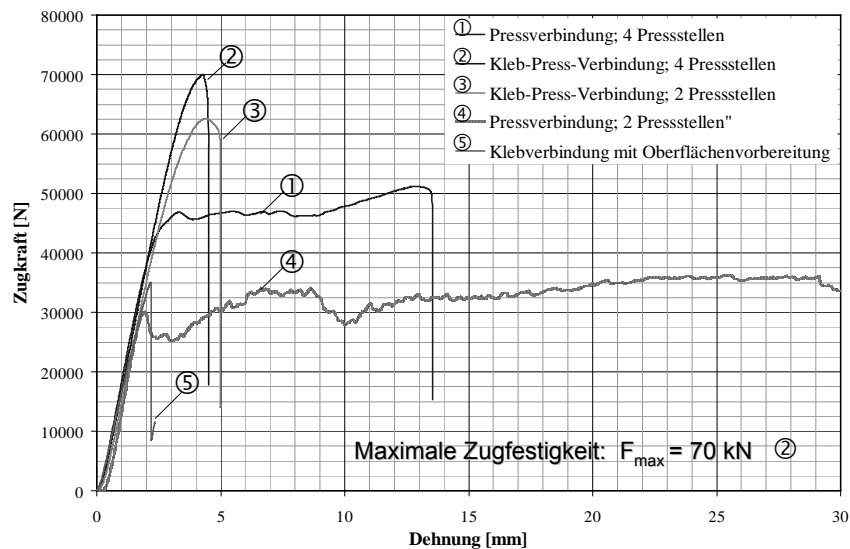


INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK



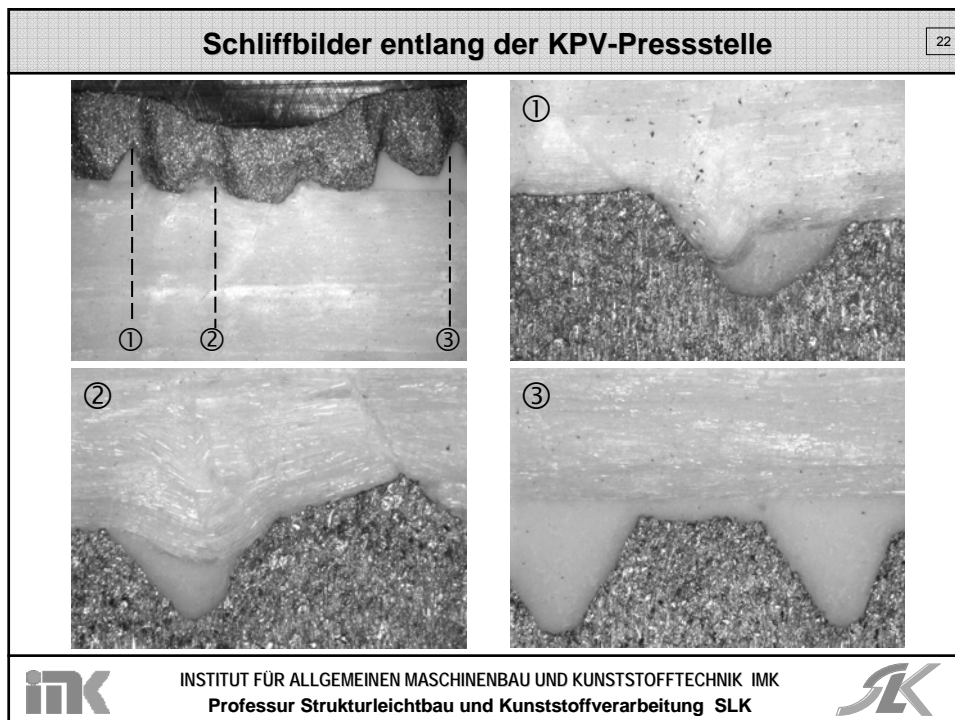
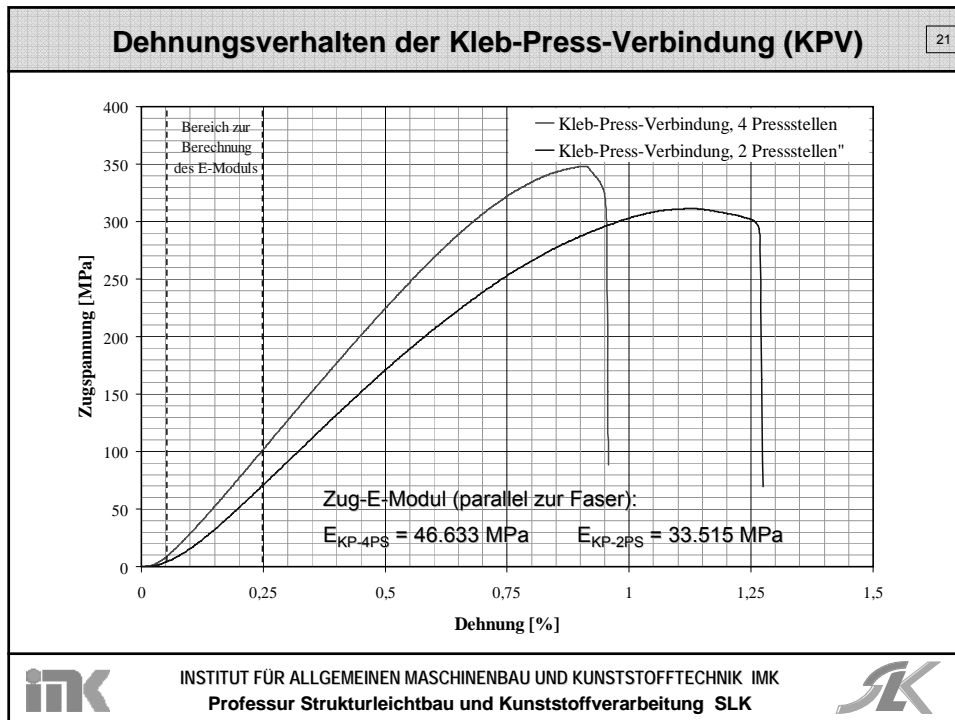
Zugfestigkeit von Kleb-Press-Verbindungen (KPV)

20



INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK





Temperaturverhalten der Kleb-Press-Verbindung (KPV)

23

Ermittlung der Zugfestigkeit der GFK-Zugstreben unter Temperatureinwirkung

INSTRON (Prüfmaschine) mit Temperatorkammer

⇒ Reduzierung der maximalen Zugfestigkeit

- T = 20°C ⇒ 100% Zugfestigkeit
- T = 60°C ⇒ 86 % Zugfestigkeit ⇒ relevante Temperatur unterm Dach
- T = 80°C ⇒ 68 % Zugfestigkeit
- T = 100°C ⇒ 56 % Zugfestigkeit

Die Verringerung der maximalen Zugfestigkeit der Kleb-Press-Verbindung ist auf das Setzungsverhalten im Anschlussbereich der Verbindung zurückzuführen.

⇒ Starke Reduzierung der Klebfestigkeit infolge Temperaturanstieg

⇒ Ab einer Temperatur von $T \geq 80^\circ\text{C}$ sichert ausschließlich die Pressverbindung die Übertragung der wirkenden Kräfte

⇒ Im Bereich von T = 20°C bis 80°C wird die Kraftleitung von Kleb- und Pressverbindung in Kombination übernommen, die maximale Zugfestigkeit der Klebverbindung sinkt jedoch bereits bei einer Temperaturerhöhung auf 60°C um ca. 14%



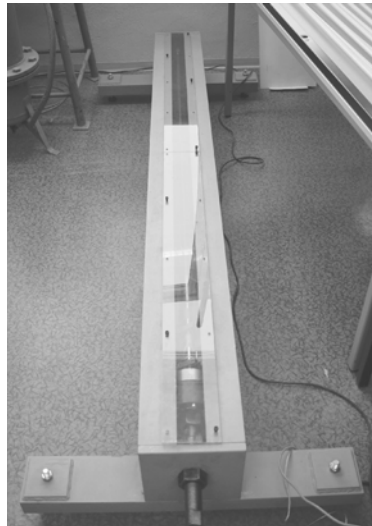
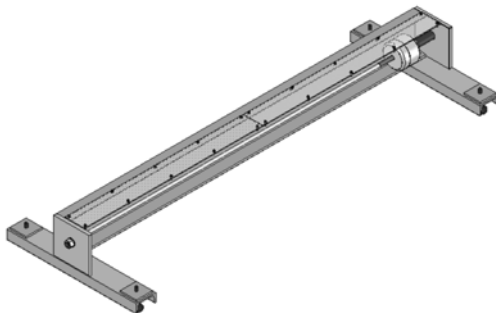
INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK



Langzeitprüfung der Kleb-Press-Verbindung (KPV)

24

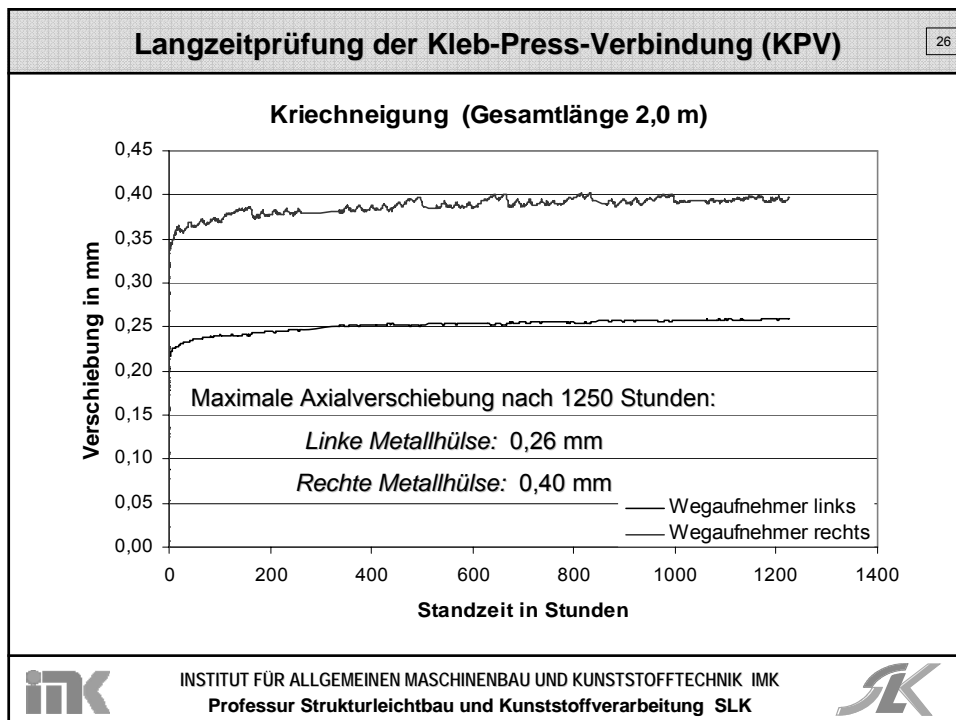
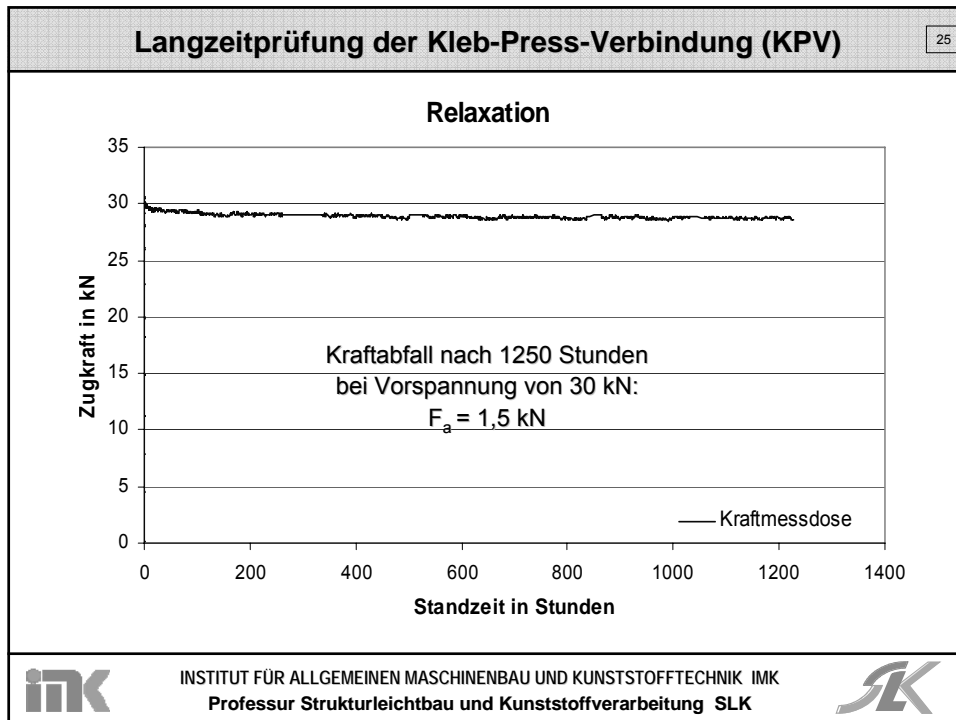
Proben GFK-Stäbe aus brandfestem Harz
Geometrie Durchmesser: 16 mm; Länge: 2,0 m
Anschluss Metallpresshülsen aus St38
Verbindung Kleb-Press-Verbindung
2K PU-Kleber
Dauer der Langzeitversuche 1200 Stunden
Vorspannkraft des GFK-Stabsystems 30 kN



INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK
Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK



6. Bautechnik-Forum Chemnitz 2007 Tagungsband



6. Bautechnik-Forum Chemnitz 2007 Tagungsband

Zusammenfassung		27
<p>Entwicklung eines Zugstabsystems aus GFK mit Anschlussverbindungen ⇒ Ersatz der konventionellen Stahl-Zugstabsysteme.</p>		
GFK-Zugstrebe	<p>Matrix: Duroplast mit Zusatzstoffen zur Erhöhung der Brandbeständigkeit</p> <p>Fasern: E-Glas (Faservolumengehalt 50 bis 60 Vol.%)</p> <p>Geometrie: Durchmesser 16, 20 mm (Herstellung durch Pultrusion)</p>	
Verbindung	<p>Kleb-Press-Verbindung (Metallhülse)</p> <p>Kleber: Zweikomponentenkleber auf Polyurethanbasis</p> <p>Pressen: Entwicklung einer hydraulischen Presseinrichtung (190 bar)</p> <p>Presskontur in Ringform, 4 Pressstellen</p>	
Eigenschaften	<p>Zugfestigkeit (Kurzzeit): $F_{\max} = 70 \text{ kN}$</p> <p>Zug-E-Modul: $E_{\text{Zug}} = 46,6 \text{ GPa}$</p> <p>Langzeitfestigkeit: Kraftabfall nach 1250 Stunden bei Vorspannung 30 kN: $F_a = 1,5 \text{ kN}$</p> <p>Schwingfestigkeit: dynamische Druck-Zugbelastung $\pm 30 \text{ kN}$ nach 10^6 Lastwechseln: $\Delta l = 0,1 \text{ mm}$</p> <p>Brandfestigkeit: nach DIN 4102 – F30</p>	
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p><small>INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK</small></p> <p>Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK</p> </div> </div>		

6. Bautechnik - Forum Chemnitz		28
<h3>Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!</h3>		
<p>Technische Universität Chemnitz Institut für Allgemeinen Maschinenbau und Kunststofftechnik IMK Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung Prof. Dr.-Ing. habil. Lothar Kroll</p> <p>Dipl.-Ing. Sandra Gelbrich Wissenschaftliche Mitarbeiterin Reichenhainer Str. 70, Zi. D 129 09126 Chemnitz</p> <p>Telefon: +49 (0) 371 531 3 21 92 Fax: +49 (0) 371 531 83 21 92 E-Mail: sandra.gelbrich@mb.tu-chemnitz.de</p> <p>www.strukturleichtbau.net</p>	<div style="text-align: center;"> <small>KUNSTSTOFFVERARBEITUNG</small> </div> <p>Lätzsch GmbH Kunststoffverarbeitung IGZ Goldener Born, Rathenastr. 1 04567 Kitzscher OT Thierbach</p> <p>Telefon: +49 (0) 3433 24 54 0 Fax: +49 (0) 3433 24 54 100 www.laetzsch.de</p>	
<p>Wir bedanken uns bei der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AIF) für die Bereitstellung von Fördermitteln sowie beim Projektpartner Lätzsch GmbH Kunststoffverarbeitung für die gute Zusammenarbeit.</p>		
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p><small>INSTITUT FÜR ALLGEMEINEN MASCHINENBAU UND KUNSTSTOFFTECHNIK IMK</small></p> <p>Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK</p> </div> </div>		